

氏 名 石田 浩規  
授与した学位 博 士  
専攻分野の名称 工 学  
学位授与番号 博甲第 4264 号  
学位授与の日付 平成 23 年 3 月 25 日  
学位授与の要件 自然科学研究科 産業創成工学専攻  
(学位規則第 5 条第 1 項該当)  
学位論文の題目 接合界面を有する材料の疲労特性に関する基礎的研究  
論文審査委員 教授 鳥居 太始之 教授 多田 直哉 教授 瀬沼 武秀

### 学位論文内容の要旨

最近、単一材では得られない機能性向上を目的とした複合材料の需要は多い。このような複合材料の特徴は接合界面を有することであり、その信頼性確保には界面強度と疲労破壊の相関の検討が必要であるが、これまでに十分な検討は行われていない。本論文では、これまで実験的に困難であった突合わせ状接合界面強弱の影響を検討できる破壊力学を応用した実験手法の提案とそれによる界面疲労損傷を明確にした。さらに層状薄膜接合による膜疲労損傷の影響を検討できる疲労試験法の提案とそれによる膜疲労損傷形態を明確にし、以下のような新しい知見を得ている。

まず、界面強度が強い突合わせ界面を持つ試験片でも安定して疲労き裂伝ば試験を行う方法および接合界面強度を定量的に評価できる画像相関法による微小変位計測法を開発し、応力繰返しに伴って接合界面上のき裂先端開口変位が増加する現象を実験的に見出した。さらにこの結果の破壊力学的検討を行い、き裂の結合モデルを用いてき裂先端での結合力低下が生じていることおよび応力繰返しによる内部エネルギー蓄積がもたらす現象であることを明らかにした。

引き続き、電気的機能性などを持たせなど金属の薄膜・微小化に伴う強度学的対応として、基板に層状界面状に接合した導電性銅膜の疲労試験法を開発し、樹脂接着界面は銅膜表面の疲労損傷形態について特徴的な挙動が現れることを明らかにした。すなわち、き裂周辺では盛り上がりが生じ、通常突き出し・入り込みのき裂発生形態とは異なること、さらに通常の表面すべりに沿う疲労き裂とは異なり圧縮に伴うせん断割れが生じることを、一般には観察が難しい試験片内部を対象にした切欠き穴底の詳細な SEM 観察および破面観察により示した。この膜疲労現象は平均応力を変えた種々の応力状態でも生じることから、薄膜疲労損傷に与える界面幾何学的・材料的因子が薄膜化 (MEMS) への対応として重要である。

最後に、本研究手法として提案した画像相関法によるき裂近傍の微小変位計測法を、摺動界面近傍に適用することにより、工業的な信頼性確保に重要となる密封装置の摺動界面損傷における基礎的評価に適用でき、新たな見地を得られる可能性を示した。

## 論文審査結果の要旨

最近、単一材では得られない機能性向上を目的とした複合材料の需要は多い。このような複合材料の特徴は接合界面を有することであり、その信頼性確保には界面強度と疲労破壊の相関の検討が必要である。本論文では、これまで実験的に困難であった突合わせ状接合界面強弱の影響を検討できる破壊力学を応用した実験手法の提案とそれによる界面疲労損傷を明確にした。さらに層状薄膜接合による膜疲労損傷の影響を検討できる疲労試験法の提案とそれによる膜疲労損傷形態を明確にし、以下のような新しい知見を得ている。

まず、界面強度が強くない突合わせ界面を持つ試験片でも安定して疲労き裂伝ば試験を行う方法および接合界面強度を定量的に評価できる微小変位計測法を開発し、応力繰返しに伴って接合界面上のき裂先端開口変位が増加する現象を実験的に見出した。さらにこの結果の破壊力学的検討を行い、き裂の結合力モデルを用いてき裂先端での結合力低下が生じていることおよび応力繰返しによる内部エネルギー蓄積がもたらす現象であることを明らかにした。

引き続き、電氣的機能性などを持たせた金属の薄膜・微小化に対して、基板に層状界面状に接合した導電性銅膜の疲労試験法を開発し、樹脂接着界面は銅膜表面の疲労損傷形態について特徴的な挙動が現れることを明らかにした。すなわち、き裂周辺では盛り上がりが生じ、通常の突き出し・入り込みのき裂発生形態とは異なること、さらに通常の表面すべりに沿う疲労き裂とは異なり圧縮に伴うせん断割れが生じることを、切欠き穴底の詳細なSEM観察および破面観察により示した。

最後に、本研究手法として提案したき裂近傍の微小変位計測法を、摺動界面近傍に適用することにより、工業的な信頼性確保に重要となる密封装置の摺動界面損傷における基礎的評価が可能であることを示した。

以上、本研究は、接合界面が疲労特性に与える基礎的因子を実験的かつ破壊力学的に明確にして、さらにその研究手法は実際的な応用面にも有益であることから、博士（工学）の学位論文に値すると認められる。